



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIMICHE
DIPARTIMENTO DI FISICA E ASTRONOMIA
CORSO DI LAUREA IN SCIENZE DEI MATERIALI

TESI DI LAUREA

ENERGIA DAL SOLE

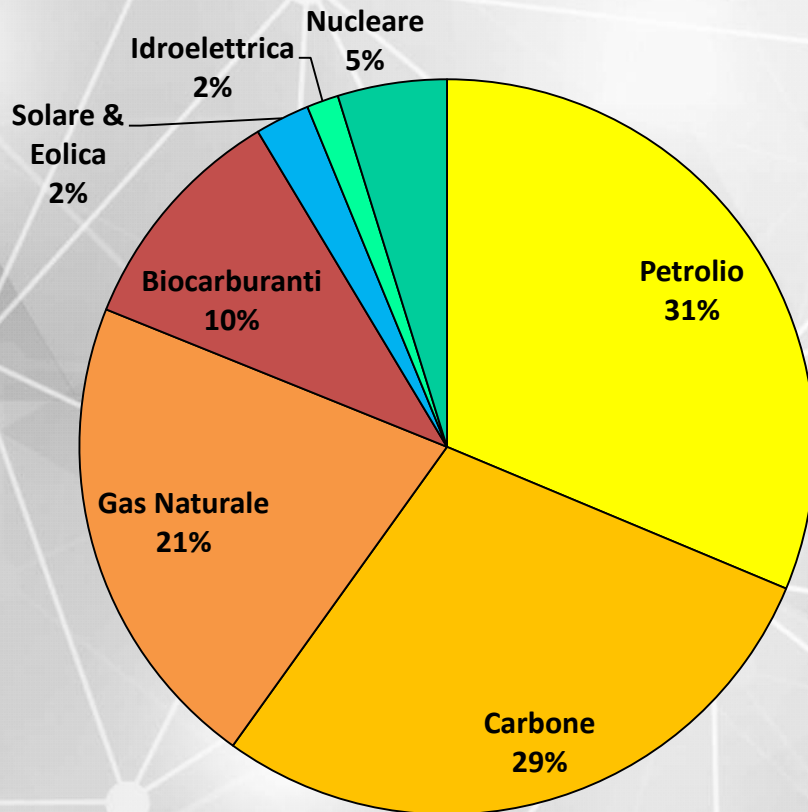
ENERGY FROM SUN

Relatore: Prof. Antonella Glisenti

Laureando/a: Andrea Codolo
N° 1169128

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

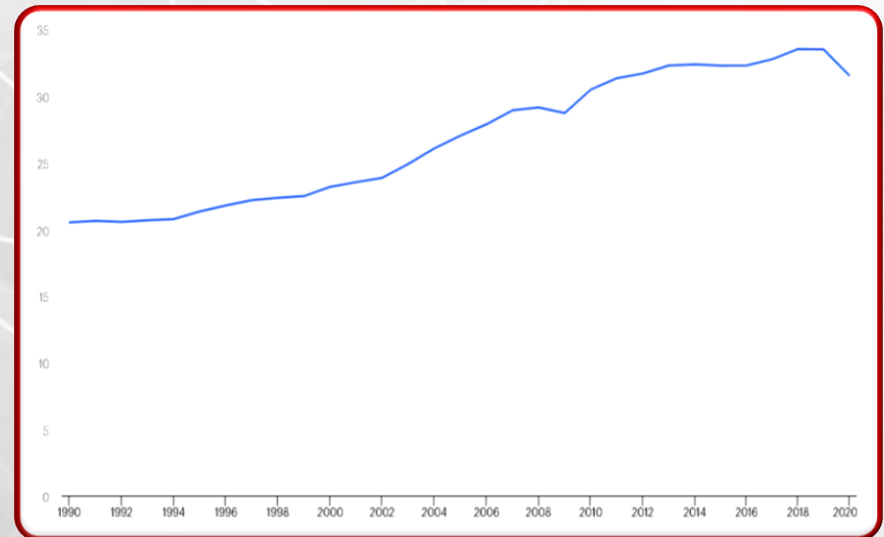
FONTI ENERGETICHE:



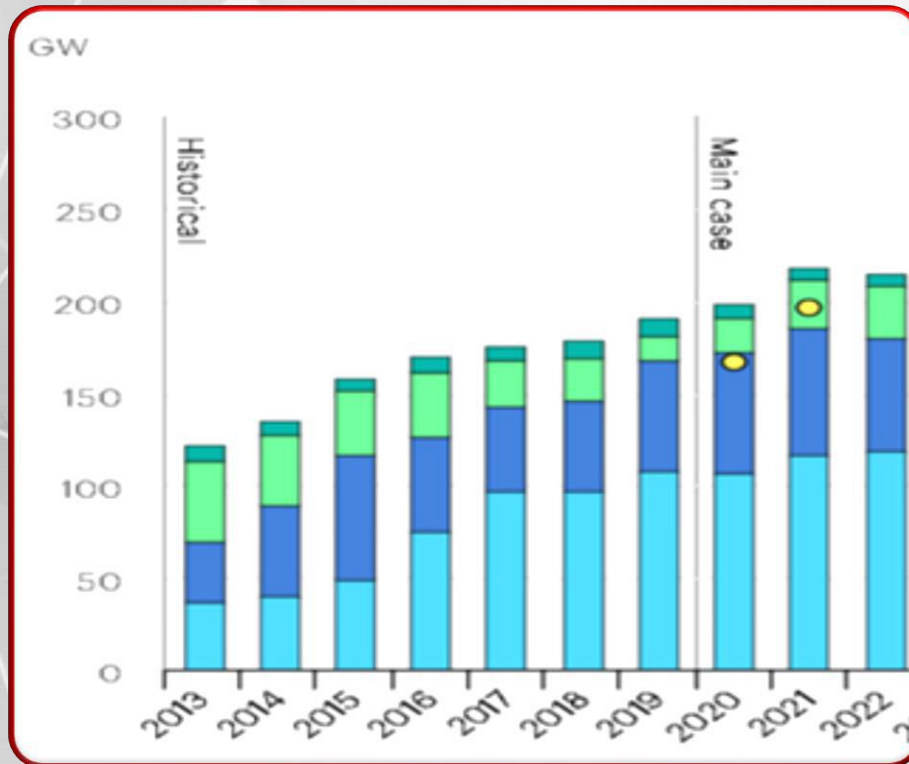
Dati relativi al 2016/17

PERCHÉ È NECESSARIO CAMBIARE?

- Nel 2020 il settore energetico ha liberato **31,5 gigatonnellate** di CO_2 nell'atmosfera
- Nel 2018 si è raggiunto il massimo storico **33,5 gigatonnellate** di CO_2



FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI:



QUALI SONO?

- Sole
- Vento
- Maree, correnti, masse d'acqua sotto effetto della forza peso
- Biomasse

QUALI SONO I VANTAGGI?

- Illimitate
- Pulite
- Facilmente accessibili

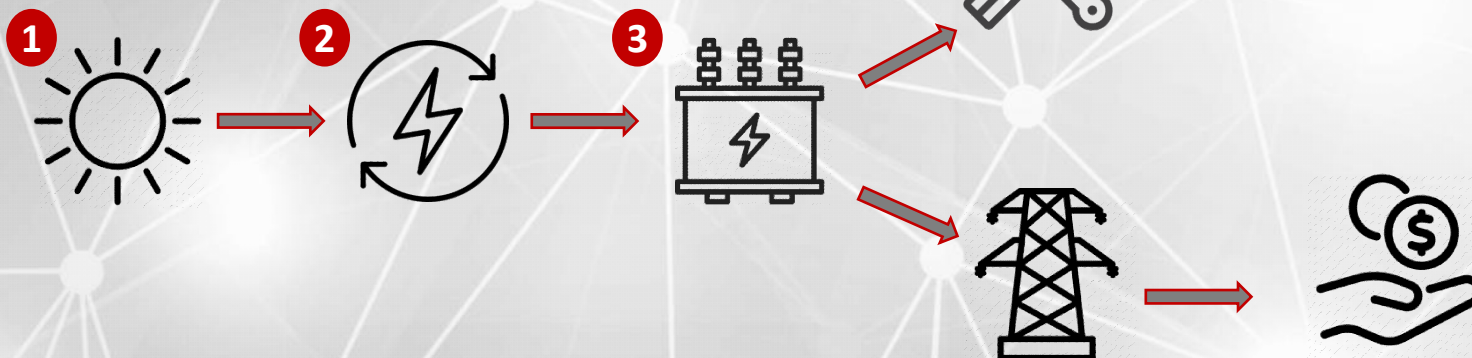
IL FOTOVOLTAICO:



COME FUNZIONA?

- Converte i **fotoni** della radiazione solare direttamente in energia elettrica
- La tecnologia si basa sui **semiconduttori**, in particolare il **Silicio**, ma non solo

COME SFRUTTARLO?

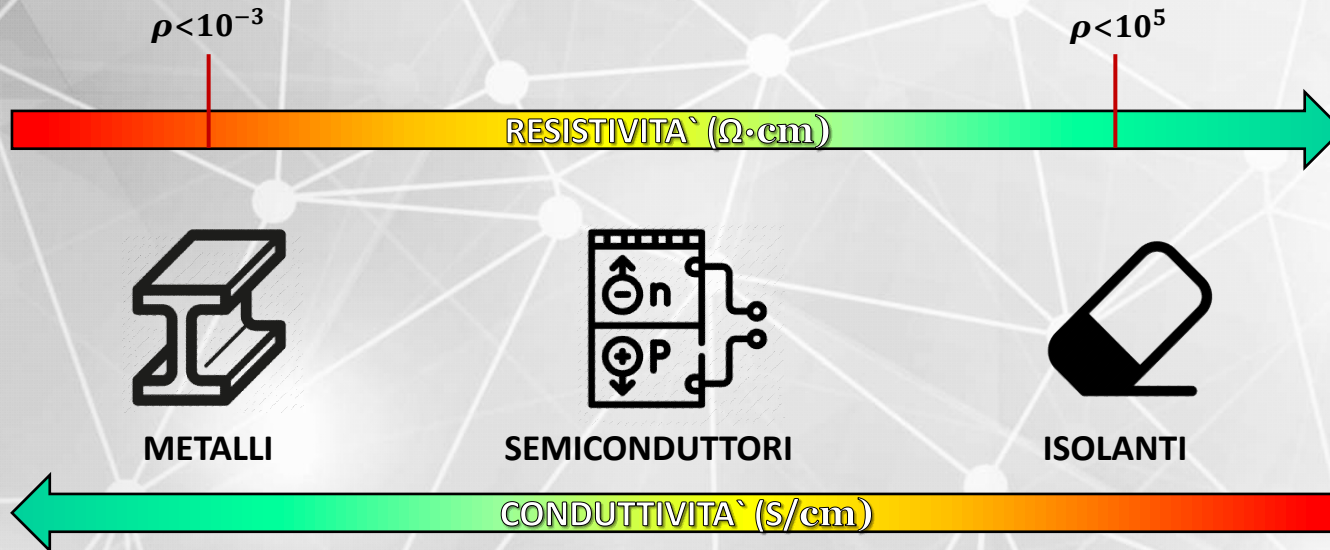


CONDUTTIVITÀ E RESISTIVITÀ:

COME SI SUDDIVIDONO I MATERIALI?

I materiali solidi si suddividono in funzione della loro **conduttività elettrica** in:

- Isolanti
- Semiconduttori
- Conduttori/Metalli

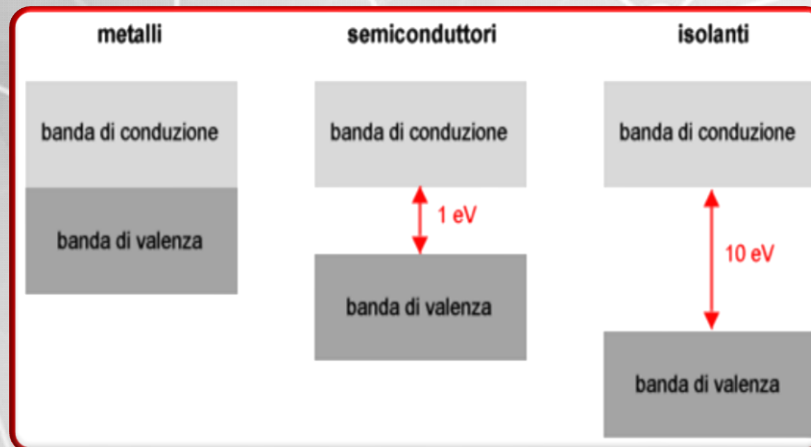


La **resistività** è definita come la resistenza che un materiale omogeneo di sezione e lunghezza unitaria oppone al passaggio della corrente.
La **conduttività** è il suo reciproco.

CONDUTTIVITÀ NEI SEMICONDUTTORI:

QUALI SONO LE CARATTERISTICHE?

- La **conduttività** aumenta all' aumentare della T°
- **Impurità** e **difetti** del materiale influenzano la conduttività
- A 0 K il **livello di Fermi** è posizionato nell' **energy gap**



ENERGY GAP:

SEMICONDUTTORI:	Energy Gap (eV)	
	0 K	300 K
Si	1,17	1,11
Ge	0,74	0,66
InSb	0,23	0,17
InAs	0,43	0,36
InP	1,42	1,27
GaP	2,32	2,25
GaAs	1,52	1,43
GaSb	0,81	0,68
CdSe	1,84	1,74
CdTe	1,61	1,44
ZnO	3,44	3,2
ZnS	3,91	3,6

DOPING:

COSA SIGNIFICA?

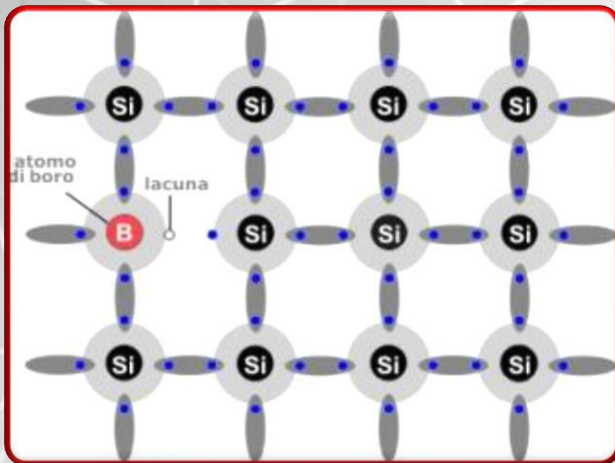
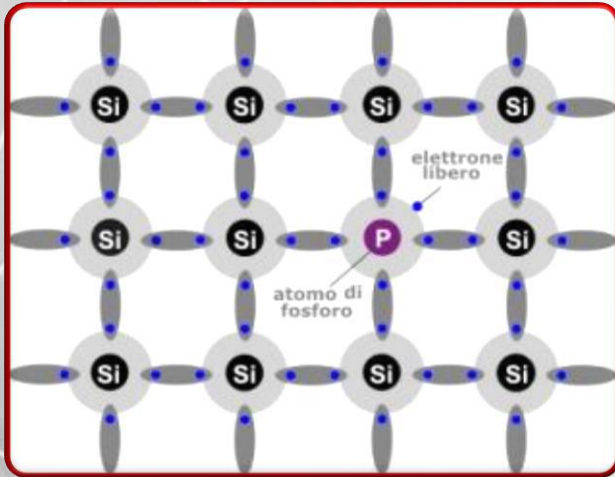
Drogare un semiconduttore consiste nel sostituire una determinata quantità di atomi di semiconduttore con la stessa quantità di atomi di un diverso elemento che abbiano una valenza diversa da quella dell'elemento semiconduttore.

Bisogna rispettare le condizioni di:

- 1 Conservazione della **massa**
- 2 Conservazione della **carica**
- 3 Mantenimento dei rapporti tra **siti reticolari**

Per il Silicio i **migliori droganti** sono:

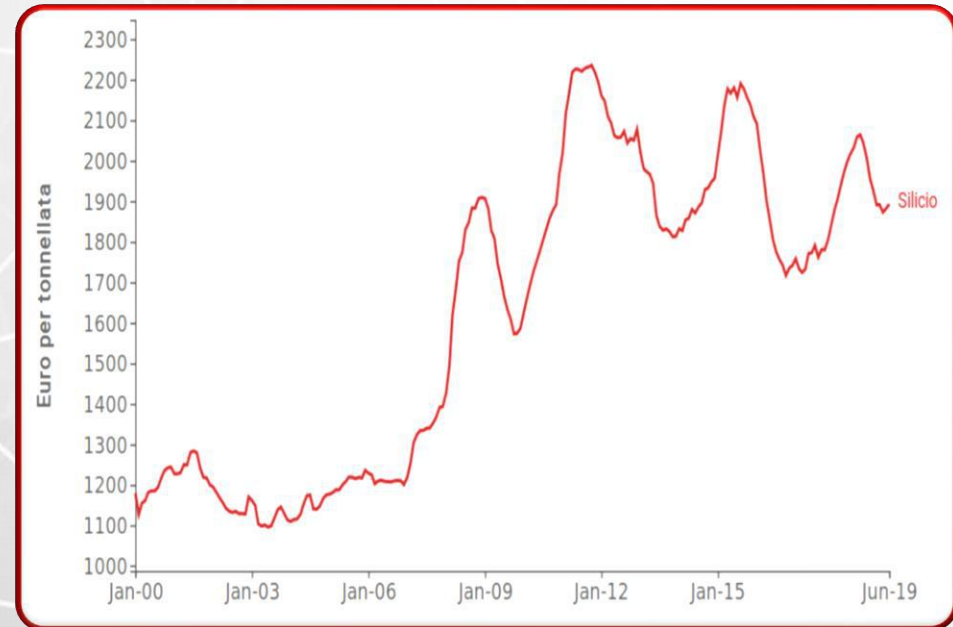
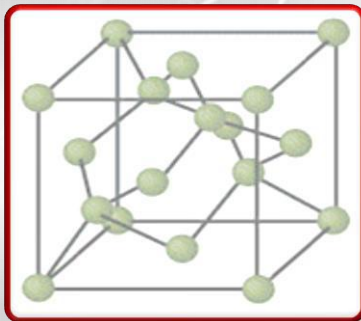
- n** *N, P, As, Sb*
- p** *B, Al, Ga*



IL SILICIO:

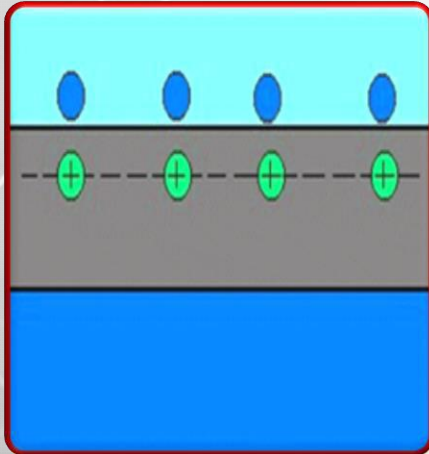
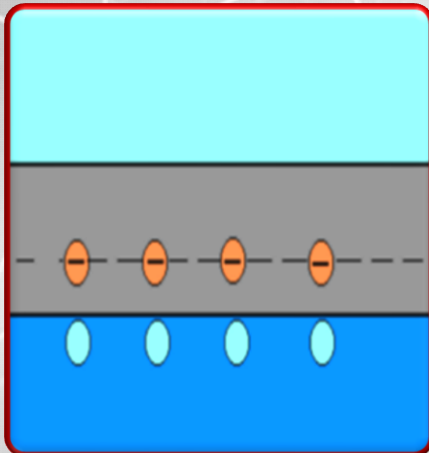
CARATTERISTICHE:

- Nella sua struttura cristallina forma 4 **legami covalenti** con altrettanti atomi di silicio
- Ha la struttura cristallina del diamante
- È un **semiconduttore estrinseco** quindi viene drogato per aumentarne la conducibilità
- Per usi nel campo fotovoltaico si usa il **silicio solare** ovvero un silicio con grado di purezza > 99,9%

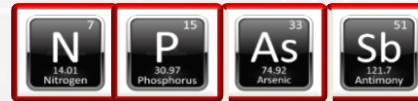


Andamento del prezzo del silicio semiconduttore dal 2000 al 2019

DOPING NEL SILICIO:

n**p**

- Droganti del **V gruppo**



- Gli atomi di drogante generano il **livello donore**
- Il **livello donore** si trova appena sotto la banda di conduzione

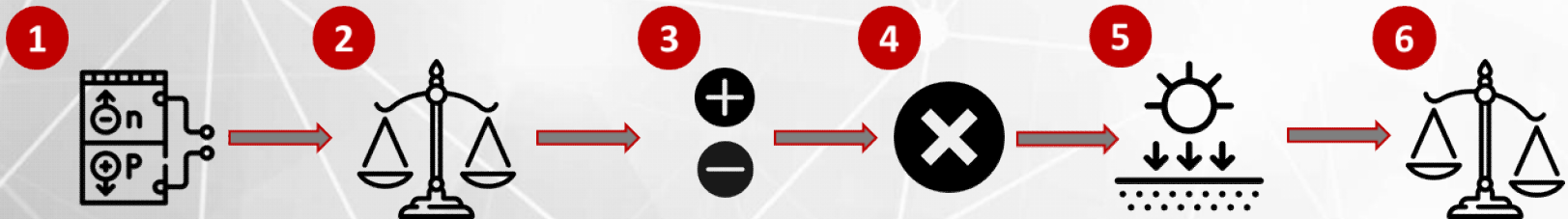
- Droganti del **III gruppo**



- Gli atomi di drogante generano il **livello accettore**
- Il **livello accettore** si trova appena sopra la banda di valenza

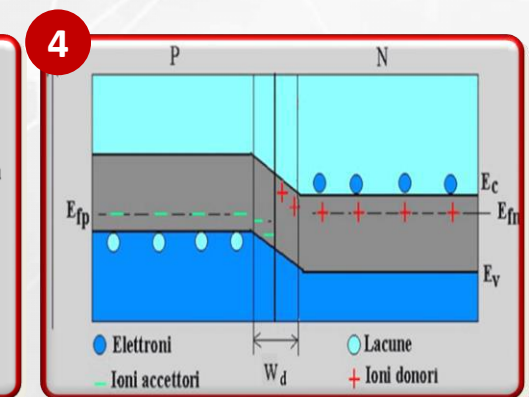
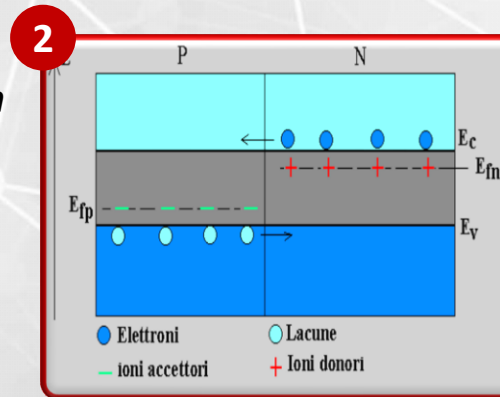
EFFETTO FOTOVOLTAICO:

COME FUNZIONA?



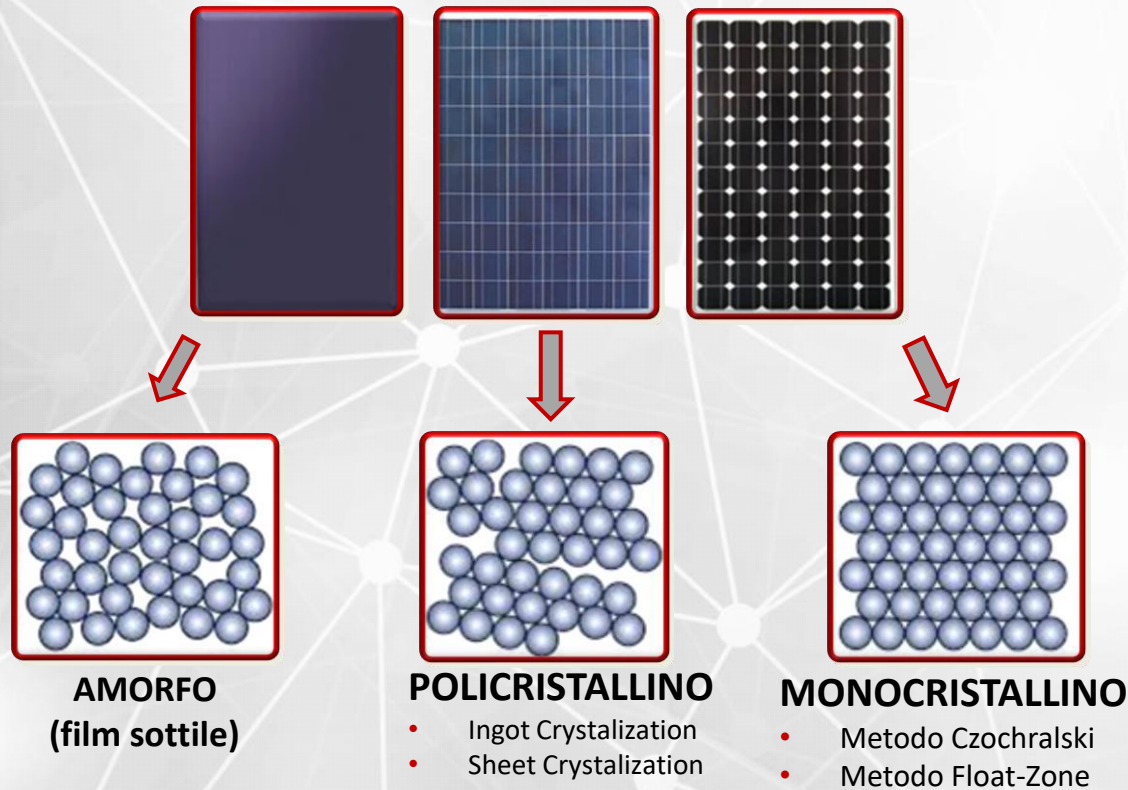
GIUNZIONE *p-n*:

- È un **semiconduttore *p*** messo a contatto con un **semiconduttore *n***
- Il semiconduttore *n* è posto sopra ed è meno spesso in modo da far arrivare la luce solare anche al semiconduttore *p*
- È complessivamente **neutra**



TIPI DI PANNELLO A BASE DI SILICIO:

PANNELLI IN SILICIO:



$$\eta = (\text{potenza} \cdot 1000 / \text{superficie}) \cdot 100$$

PROBLEMATICHE:

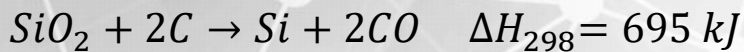
QUALI SONO?

I pannelli a base di silicio presentano però anche delle problematiche, soprattutto nelle **emissioni di CO_2** e nei **costi di produzione**.

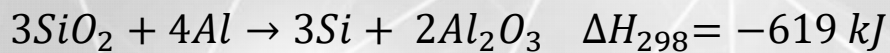
Reazioni di purificazione:



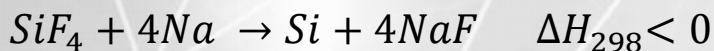
- **Carbothermal reduction:**



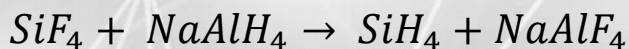
- **Aluminothermal reduction:**



- **Silicon tetrafluoride reduction:**



- **Ethyl Process:**



98%

CONVERSIONE

- $SiHCl_3$
- $SiCl_4$
- SiH_2Cl_2
- SiH_4

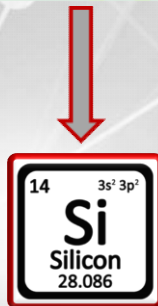
CVD

99,9%

ALTERNATIVE:

SEMICONDUCTORI:

Periodic Table of the Elements



SILICIO

B	C	N	O
Al	Si	P	S
Zn	Ga	Ge	As
Cd	In	Sn	Sb
Hg	Tl	Pb	Bi
Cn	Uut	Fl	Uup

SEMICONDUCTORI
COMPOSITI

Zn	O
Cd	S
Hg	Se
Cn	Te
	Po
	Lv

SEMICONDUCTORI
II-VI

B	N
Al	P
Ga	As
In	Sb
Tl	Bi
Uut	Uup

SEMICONDUCTORI
III-V

SEMICONDUTTORI II-VI:

COSA SONO?

Si ottengono dalla combinazione di due o più elementi che vanno a formare un cristallo con le caratteristiche di un semiconduttore; Nei **semiconduttori II-VI** abbiamo:

- Uno o più elementi del **12° gruppo**
- Uno o più elementi del **16° gruppo**

LEGHE BINARIE:

SEMICONDUTTORE:	Formula:	Band Gap (eV):	Sistema Cristallino:
		300K	
Solfuro di Cadmio	<i>CdS</i>	2,42	Esagonale/Cubico
Seleniuro di Cadmio	<i>CdSe</i>	1,74	Esagonale
Tellururo di Cadmio	<i>CdTe</i>	1,44	Cubico
Solfuro di Mercurio	α - <i>HgS</i>	2,1	Trigonale
Ossido di Zinco	<i>ZnO</i>	3,2	Esagonale
Solfuro di Zinco	α - <i>ZnS</i>	3,91	Esagonale
	β - <i>ZnS</i>	3,6	Cubico
Seleniuro di Zinco	<i>ZnSe</i>	2,7	Esagonale/Cubico
Tellururo di Zinco	<i>ZnTe</i>	2,26	Cubico

SOLFURO DI CADMIO *CdS*:

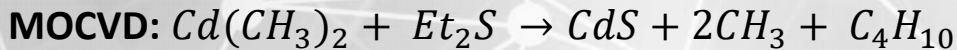
CARATTERISTICHE:

È un composto tossico e pericoloso per l'ambiente ma ha ottime proprietà ottiche.

Ha 3 strutture cristalline differenti:

- 1 **Esagonale** (Wurtzite), in condizioni di pressione e temperatura standard
- 2 **Cubico** (Zincoblenda)
- 3 **Cubico a facce centrate** (Cloruro di Sodio) a pressione elevata

METODO DI SINTESI:



CHE UTILIZZO HA NEL FOTOVOLTAICO?

È applicato come **film sottile** nelle celle fotovoltaiche dove funge da semiconduttore *n-type* sia nei **pannelli al tellururo di cadmio** che nei **pannelli CIGS**



Tellururo di Cadmio

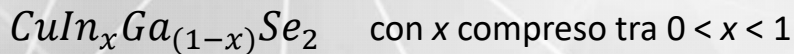


Solfuro di Cadmio

PANNELLI CIGS:

COSA SONO?

È un pannello fotovoltaico il cui materiale **semiconduttore p** è una soluzione solida di **di-seleniuro di rame e indio** e **di-seleniuro di rame e gallio**. La formula è la seguente:

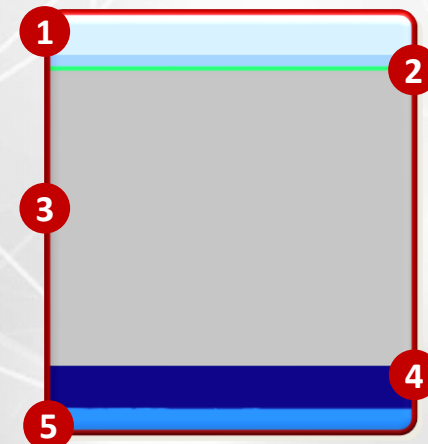


CARATTERISTICHE:

- **Band gap:** varia in funzione di x , è compreso fra 1,0 eV e 1,7 eV
- **Coefficiente di assorbimento solare:** maggiore di $10^5/cm$ per fotoni di energia $\geq 1,5$ eV
- **Efficienza:** alcuni prodotti non ancora commercializzati hanno un rendimento del 23,3%

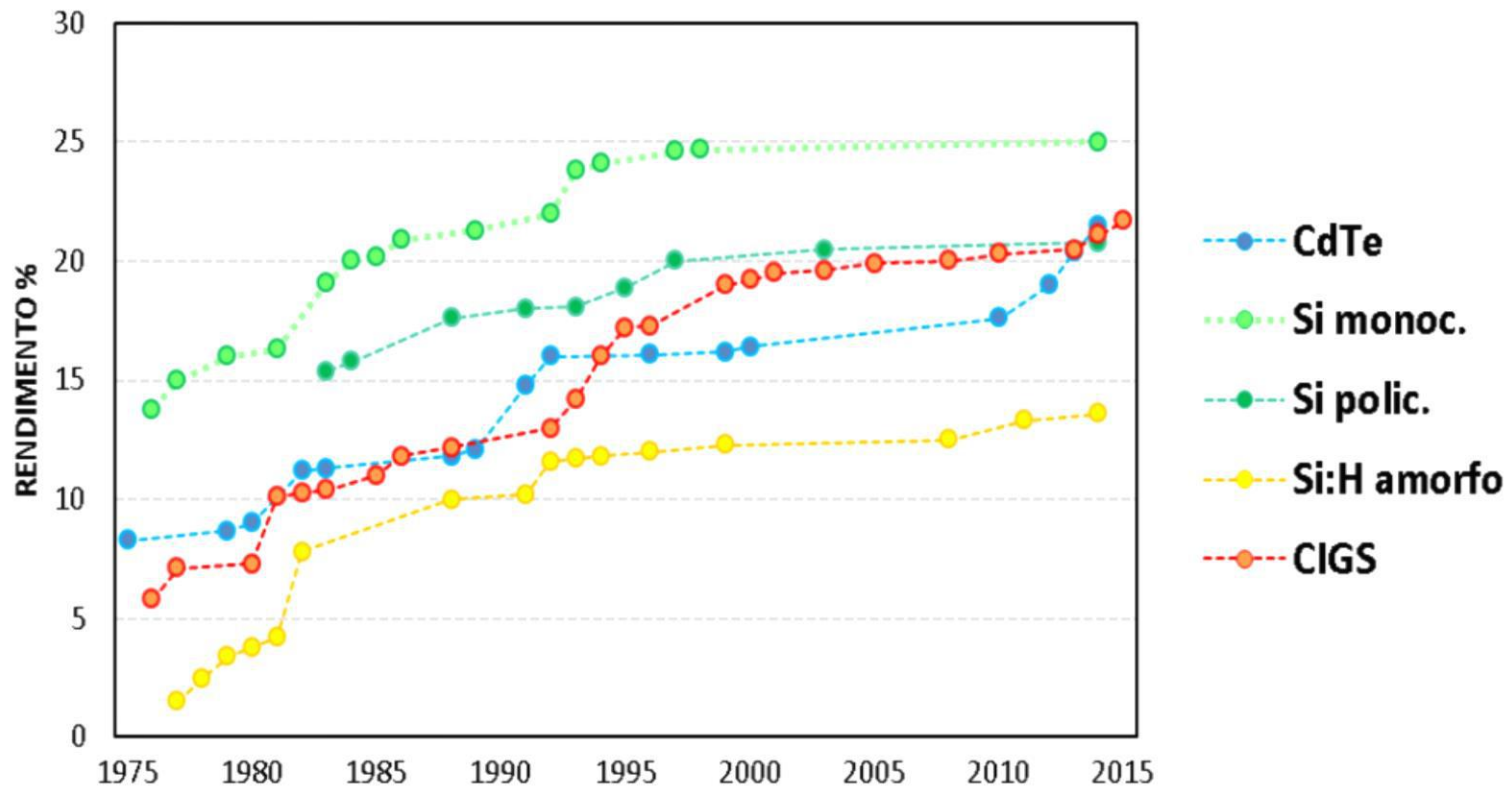
STRUTTURA:

- 1 Strato di **ZnO drogato Al** (0,3-0,4 μm)
- 2 Semiconduttore n-type in **ZnO** (0,1 μm) e **CdS** (0,05 μm)
- 3 Semiconduttore p-type **CIGS** (1,5-2,5 μm)
- 4 Strato di **Mo** (0,3-0,4 μm)
- 5 Substrato in **vetro sodico-calcico** (1-3 mm)



RENDIMENTO

Cronologia del rendimento teorico massimo negli anni



I dati riguardano i rendimenti massimi per prodotti di aziende diverse non ancora del tutto commercializzati

CASA DELL' ENERGIA:



- 215 m^2 di superficie
- 2 laboratori
- 1 sala polifunzionale
- 4000 studenti ospitati

QUALI SONO LE INNOVAZIONI?

- **Impianto fotovoltaico** a pellicola CIS (pannelli CIGS senza Gallio)
 - 1) 45 pannelli da 170 W
 - 2) Quasi 8 kW di potenza erogata
- **Climatizzazione** attraverso travi fredde
- **Riscaldamento** a pavimento
- **Caldiaia** a biomassa, sfrutta la combustione pirolitica
- **Rivestimento esterno** di ceramica fotocatalitica in TiO_2





*«Il sole non è soggetto ai monopoli. E non paga la bolletta.»
Carlo Rubbia*

Grazie per l' attenzione.

SITOGRAFIA:

- <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-related-co2-emissions-1990-2020>
- <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/renewable-electricity-net-capacity-additions-by-technology-main-and-accelerated-cases-2013-2022>
- <https://www.chimitutor.org/>
- <https://elettromagazine.it/>
- <https://www.elettropiemme.it/>
- <https://www.rinnovabili.it/>
- <https://www.sorgenia.it/guida-energia/pannelli-fotovoltaici-le-tipologie>
- <https://www.fotovoltaiconorditalia.it/mondo-fotovoltaico/pannelli-fotovoltaici-cigs-nuova-frontiera-del-film-sottile/>
- <https://www.pannellisolariprezzi.org>
- <https://casadellenergia.leviponti.edu.it/>